

## XLPE/EPDM laminate의 계면절연파괴 현상

### Interfacial Breakdown Phenomena in XLPE/EPDM Laminates

남진호, 서광석  
Jin Ho Nam, Kwang S. Suh

고려대학교 재료공학과  
Department of Materials Science, Korea University

#### Abstract

In order to determine what influences the interfacial breakdown in EPDM/XLPE laminates, We studied the interfacial breakdown phenomena at several interfacial conditions. Breakdown strength in laminates pasted with silicone oil was higher than that with silicone grease. As a function of heat treatment time in a vacuum, interfacial breakdown strength increased much in XLPE/EPDM laminates pasted with silicone grease but increased a little in that with silicone oil. FT-IR spectrum of silicone oil was similar to that of silicone grease. FT-IR spectrum of silicone oil was not changed by the heat treatment in a vacuum, but in silicone grease another peak appeared.

**Key Words (중요용어):** EPDM, XLPE, Laminates, Interface, Breakdown, FT-IR

#### 1. 서론

일반적인 절연재료로 고분자가 널리 사용되어지고 있는데 이러한 고분자 절연재료는 절연성능을 높이기 위하여 블렌드를 하거나 충전제를 사용하기 때문에 이러한 절연재료에는 계면이 존재하게 된다. 이러한 계면에 전계 집중이 발생하면 시료내부를 통과하기보다는 상대적으로 약한 절연파괴를 갖는 계면을 따라 절연파괴를 일으킬 수 있음은 널리 알려진 사실이다. 계면은 크게 거시적 계면과 미시적 계면으로 양분할 수 있는데 이러한 계면의 존재로 전기전도도, 유전율 등의 차이로 인하여 전계의 집중이나 전하축적 등이 일어나고 케이블과 같은 이중구조의 계면에서 기공, 불순물, 미세 돌기 등의 존재로 전기적 특성에 복잡한 양상을 띠게 된다. 현재 이러한 계면에서 일어나는 전기적 특성에 관해 다각적으로 연구가 진행되어지고 있다<sup>1, 2)</sup>.

본 연구에서는 전력케이블의 접속부에 발생하는 절연층간의 계면을 설정하여 계면에서의 절연파괴 특성을 연구하였다.

#### 2. 실험방법

본 연구에 사용된 ethylene propylene diene terpolymer (EPDM) 컴파운드는 Dupont 사의 제품으로 결정성이 없는 무정형의 고분자이며 diene은 1,4

hexadiene이 사용되었고 비유전율은 2.7이다. Cross-linked polyethylene (XLPE)은 국내 화학회사 제품으로 밀도는 0.920 g/cm<sup>3</sup>이고 비유전율은 2.3이다.

DC 절연파괴 실험에 사용된 EPDM과 XLPE는 고온 프레스를 이용하여 130 °C에서 두께 약 400 μm로 압축 성형한 후 180 °C에서 10분간 가교시켜 준비하였다.

본 연구에 사용된 전극은 두께 150 μm의 구리선을 사용하였으며 부식과정을 통해 곡률 반경 10 μm의 전극을 자체 제작하여 사용하였다. 전극의 SEM 이미지를 그림 1에 나타내었다.

계면에서 발생하는 절연파괴를 수행하기 위하여 본 연구팀에서는 계면압력을 조절할 수 있는 절연 파괴 장치를 만들었다. 일반적으로 접속부에는 0.5 kg/cm<sup>2</sup>의 압력이 걸리며 1 kg/cm<sup>2</sup>은 1기압에 해당한다. 압력은 4개의 스프링을 통해 시편에 걸리게 되며 압력은 스프링의 길이 감소에 비례하므로 추를 이용하여 압력을 보정하였다. 이를 그림 2 (a)에 나타내었다. 시편에 장착된 전극의 형상은 그림 2(b)에서와 같이 수직 배열을 하였다.

계면에는 접속재에 사용되는 실리콘 그리스와 실리콘 오일을 도포한 시료와 진공 열처리한 실리콘 그리스와 실리콘 오일을 도포하여 계면조건을 달리 하였다.

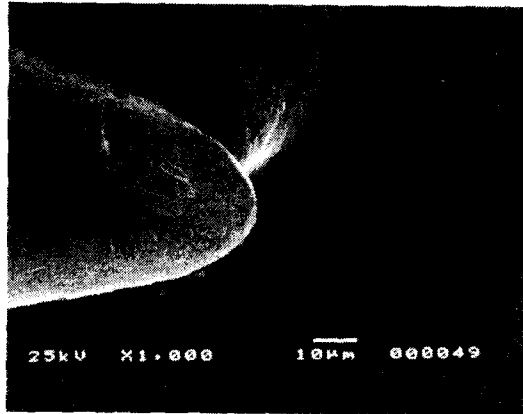


그림 1. 전극의 SEM 이미지

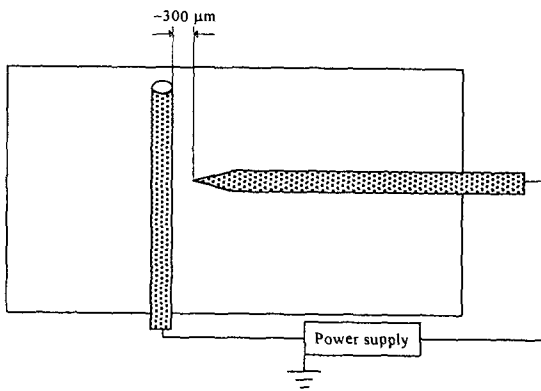
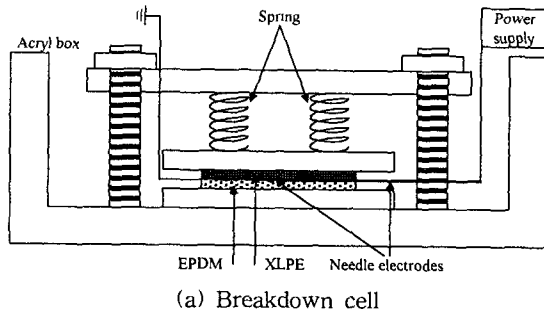


그림 2. 절연파괴시험 장치도

### 3. 실험결과 및 고찰

전극 거리간 절연파괴 강도 의존성을 알아보기 위하여 12,500 cSt의 점도를 가진 실리콘 오일을 계면에 도포한 후 계면절연파괴강도를 측정하였다. 전극간 거리는 반사현미경을 이용하여 80 ~ 500  $\mu\text{m}$ 로 조절하여 실험하였고 이를 그림 3에 나타내었다.

그림에서 보듯이 전극간거리가 250  $\mu\text{m}$  이하에서는 전극간 거리의 증가에 따라 급격한 절연파괴 강도의 저하를 나타낸 반면, 250  $\mu\text{m}$  이상의 전극간 거리에서는 수평적 분포를 나타내었다. 따라서 이후의 실험에서는 전극간 거리를 약 300  $\mu\text{m}$ 로 정하여 절연파괴 실험을 수행하였다.

실리콘 그리스와 실리콘 오일로 계면조건을 달리한 상태에서 측정된 계면절연파괴강도를 그림4에 나타내었다. 그림에서 보듯이 열처리하지 않은 실리콘 오일과 그리스를 도포했을 때 실리콘 오일을 도포한 경우가 실리콘 그리스를 도포한 경우보다 높은 절연파괴 강도를 나타내었다. 이는 실리콘 그리스에 충전제와 첨가제가 포함됨으로 인하여 계면절연파괴강도가 낮게 나타난 것으로 생각된다.

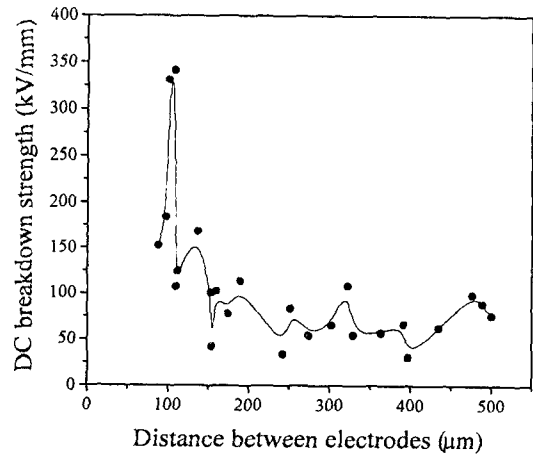


그림 3. 절연파괴 강도의 전극간 거리 의존성

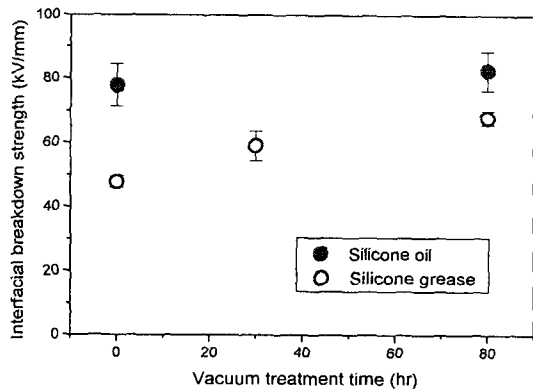


그림 4. 실리콘 그리스와 실리콘 오일에 따른 XLPE/EPDM laminates의 절연파괴강도

각각의 실리콘 그리스와 실리콘 오일의 진공 열처리 시간에 따른 절연과피강도 값을 비교해보면 실리콘 오일에서는 약간 증가하지만 큰 변화는 없는 것으로 나타났으나 실리콘 그리스의 진공 열처리 시간에 따라서 더 많이 증가함을 알 수 있다. 이는 실리콘 그리스의 진공 열처리에 내부적인 화학구조의 변형에 기인한 것으로 생각할 수 있다.

실리콘 오일이나 그리스의 열처리에 따른 변화로 고려할 수 있는 내용은 일반적으로 산화에 의한 변화와 수분에 의한 영향으로 고려된다. 오일이 산소에 노출되면 산화에 의하여 carboxylic acids를 포함하는 카보닐 컴파운드를 형성한다<sup>3-5)</sup>. 이 carboxylic acids는 오일의 산도 (acidity)에 기여하고 오일에 있는 염기성 첨가제를 소모시키고 부식에도 역할을 하게 된다. 또한 산화는 오일의 점도를 증가시키게 된다. 그러나 본 연구에서 사용한 열처리 조건이 진공 중에서 실행되었으므로 산소 분위기에서 산화에 의한 변화는 배제하였다.

다른 원인으로 수분을 고려할 때에 실리콘 오일에 수분이 존재하면 절연과피강도가 감소하는 것으로 알려져 있다.

본 실험에서 FTIR을 이용하여 실리콘 오일과 실리콘 그리스의 진공 열처리 전후에 특성 변화를 관찰하였다.

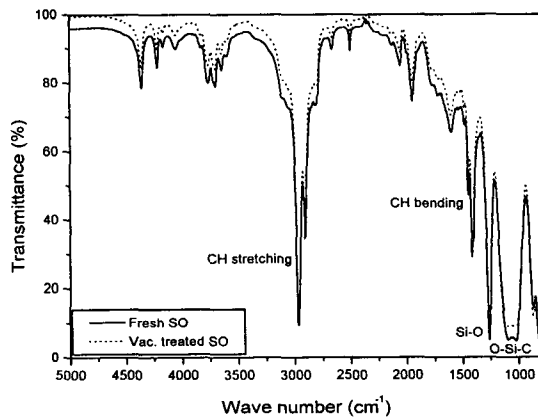


그림 5. 진공 열처리 전후에 실리콘 오일의 IR spectra (SO: silicone oil)

FTIR은 Perkin-Elmer사의 GX2000을 사용하였으며 CaCl<sub>2</sub> 윈도우를 통해 측정하였다. 그림 5에 대기중에 있던 실리콘 오일과 80 시간동안 진공 열처리한 실리콘 오일의 IR spectra를 나타내었다. IR spectra에서 3000-2800 cm<sup>-1</sup>부근의 피크는 CH 스트

레칭에 의한 것이고 1400 cm<sup>-1</sup>부근의 피크는 CH bending에 의한 것이다. 1260-1000 cm<sup>-1</sup>은 실리콘 오일에서 Si-O, Si-R, O-Si-C에 의한 것으로 나타났<sup>6)</sup>. 위의 5가지는 실리콘 오일류의 기본 피크이다.

수분에 의한 피크는 주로 3700-3000 cm<sup>-1</sup> 부근에서 OH에 의한 것으로 알려져 있으며 보통 넓게 퍼져있는 형태를 나타낸다<sup>6)</sup>.

그림 6은 실리콘 그리스의 진공 열처리 전후에 측정된 IR 스펙트럼을 나타낸다. 그림에서 대기중에 있던 실리콘 그리스의 IR 스펙트럼은 실리콘 오일의 스펙트럼과 비교하여 거의 차이가 없는 것으로 나타났으나 실리콘 그리스의 진공 열처리에 따라서 3230 cm<sup>-1</sup> 부근에서 새로운 피크의 형성을 볼 수 있다. 이 피크는 실리콘 그리스의 진공 열처리 후에 발생한 피크이다.

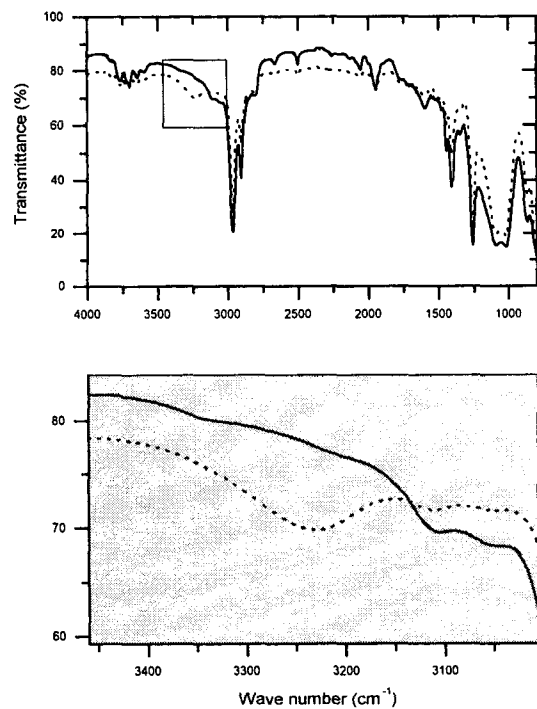


그림 6. 실리콘 그리스의 진공 열처리 전후의 IR spectra; 직선: fresh silicone grease, 점선: vac. treated silicone grease

#### 4. 결론

1. XLPE/EPDM laminates에서 실리콘 오일을 계면에 도포한 경우가 실리콘 그리스를 바른 경우보다 높은 절연파괴강도를 나타내었다.
2. 실리콘 오일과 실리콘 그리스의 진공 열처리시간이 증가할수록 실리콘 오일을 바른 laminates는 약간 증가하는 것으로 나타났으나 실리콘 그리스를 도포한 laminates에서는 증가폭이 더 컸다.
3. 실리콘 그리스와 실리콘 오일의 IR 스펙트럼은 거의 유사한 결과를 나타내었다.
4. 실리콘 오일의 진공 열처리에 따른 IR 스펙트럼에서는 거의 차이를 보이지 않았으나 실리콘 그리스의 경우에는 진공열처리에 따라서 새로운 피크의 형성을 나타냈다.

#### 참고문헌

1. K. S. Suh et al., *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 3, 201, 1996.
2. T. Ditchi et al., *IEEE Trans. Electr. Insul.*, Vol. 24, 403, 1989.
3. R. Ross et al., *IEEE Trans. Electr. Insul.*, Vol. 27, 405, 1987.
4. A. T. Bulinski et al., *IEEE Trans. Electr. Insul.*, Vol. 5, 558, 1998.
5. F. Delor et al., *Polym. Degrad. Stab.*, Vol. 62, 395, 1998.
6. John A. Lendgrebe, *Organic Laboratory*, 4th Ed., Thomson International Publishing, CA, USA, 1993.